

Antonín LOKAJ¹, Kristýna KLAJMONOVÁ²

**ÚNOSNOST SVORNÍKOVÝCH SPOJŮ KULATINY S VLOŽENÝMI OCELOVÝMI PLECHY
PŘI JEDNORÁZOVÉM STATICKÉM NAMÁHÁNÍ**

**CARRYING CAPACITY OF BOLTED JOINTS OF ROUND TIMBER WITH STEEL PLATES
UNDER STATIC LOADING**

Abstrakt

Obsahem příspěvku je prezentace výsledků statických testů svorníkových spojů dřevěné kulatiny s vloženými ocelovými styčnickovými plechy. Testy spojů vzorků kulatiny v tahu byly prováděny staticky v lisu EU100 v laboratoři FAST VŠB-TU Ostrava. Výsledky testů byly statisticky vyhodnoceny a doplněny o grafické záznamy deformační odezvy spoje na zatížení.

Klíčová slova

Kulatina, svorník, spoj, únosnost.

Abstract

Aim of this article is in presentation of results of statically tests of round timber bolted connections with steel plates. Round timber connections tests in tension were made on pressure machine EU100 in laboratory of Faculty of Civil Engineering VSB-TU Ostrava. Results of laboratory tests have been statistically evaluated and completed by graphical records of deformation response on loading.

Keywords

Round timber, bolt, joint, carying capacity.

1 ÚVOD

V současnosti se těší stále větší oblibě dřevěné konstrukce prováděné z kulatiny. Jedná se zejména o lávky, mosty, rozhledny (v roce 2011 byla dokončena nejvyšší dřevěná rozhledna z kulatiny ve střední Evropě - u Bohdanče, o výšce téměř 53 m – obr. 1 a 2 - [2]), případně vybavení dětských hřišť. Pokud jsou tyto konstrukce navrženy s příhradovým nosným systémem, pak spoje prvků těchto konstrukcí jsou často prováděny pomocí svorníků a vkládaných ocelových styčnickových plechů.

V současných evropských normách pro navrhování dřevěných konstrukcí ([1]) je řešena problematika spojů typu dřevo-dřevo, resp. ocel-dřevo pomocí svorníků, ale dřevem se myslí výhradně hraněné řezivo. Spoje prvků z kulatiny nemají v současných normách dostatečnou oporu. Problémem je rovněž určení cyklicky namáhaných spojů (na únavu viz např. [3] a [4]) těchto prvků navzájem, případně v kombinaci s ocelovými prvky. Zkoumání statické únosnosti svorníkových spojů prvků z kulatiny se věnovali výzkumníci ve Velké Británii, na ČVUT ([6]) i na dalších

¹ Doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 302, e-mail: antonin.lokaj@vsb.cz.

² Ing. Kristýna Klajmonová, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: kristyna.klajmonova@vsb.cz.

výzkumných pracovištích. Výsledky testování svorníkových spojů ocelových nosníků a prvků z LLD lze nalézt např. v [7].

Ke spolehlivému návrhu dřevěných konstrukcí z kulatiny, které mohou být vystaveny dynamickému namáhání (zejména mosty, lávky, věže a rozhledny), je nezbytně nutné znát odezvu těchto konstrukcí a hlavně jejich spojů na statické i dynamické zatížení. V první fázi byl vybrán nejobvyklejší typ spojů, tj. svorníkový přípoj osově taženého prutu s vloženým styčnickovým ocelovým plechem. Poté byly vyrobeny testovací vzorky. Vzorky svorníkového spoje dřevěných prvků z kulatiny s vloženými styčnickovými plechy byly testovány na únosnost a deformaci při jednorázovém namáhání tahem – až po destrukci spoje. Tímto testem byla zjišťována únosnost a deformace spoje při statickém namáhání a zároveň bylo provedeno srovnání s výpočtem únosnosti podle současně platné evropské normy pro navrhování dřevěných konstrukcí – [1] (uvádí vztahy pro spoje ocel/hraněné dřevo). Tyto testy byly provedeny na zařízení v laboratoři FAST VŠB-TU Ostrava. Na základě výsledků statických testů budou nastaveny intenzity dynamického zatížení a spoje budou následně testovány i cyklickým zatížením na pulzátoru.



Obr. 1: Rozhledna u Bohdanče z dřevěné kulatiny

2 POPIS TESTOVANÝCH VZORKŮ

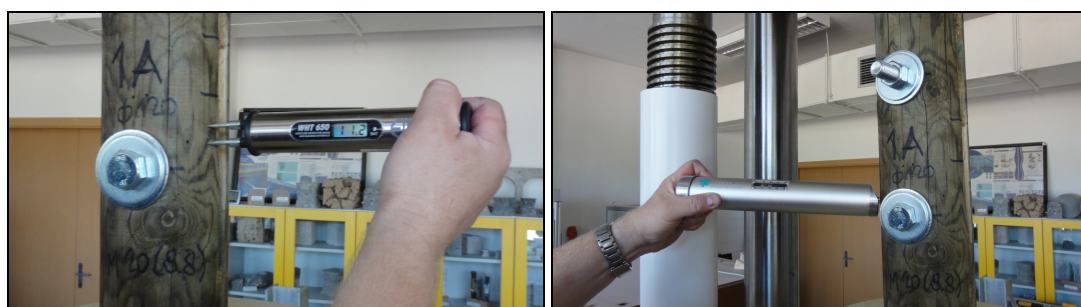
Velikost testovacích vzorků bylo nutné přizpůsobit možnostem testovacího zařízení v laboratoři FAST VŠB-TU Ostrava. Byla použita kulatina o průměru 120 mm ze smrkového řeziva délky 450 mm. Průřez byl frézován na konstantní průměr. Svorníky byly zvoleny z VP oceli třídy 8.8 ($f_y = 640$ MPa, $f_u = 800$ MPa) o průměru 20 mm. Styčnickové plechy z oceli S235 tloušťky 8 mm, šířky 70 mm, byly opatřeny dírou pro svorník o průměru 22 mm. Díry pro svorníky v kulatině měly průměr 20 mm. Celkem bylo připraveno a otestováno 9 vzorků (obr. 2 - A). Testy – tahové zkoušky probíhaly na lisu EU100 se záznamovým zařízením (obr. 2 - B).

Před započítím testování v lisu bylo provedeno několik nedestruktivních testů s cílem určit kvalitu materiálu kulatiny a zejména její vlhkost a hustotu. Testované vzorky kulatiny byly zváženy na laboratorních vahách, změřeny rozměry a vlhkost (obr. 3 – A). Z takto získaných údajů byla určena objemová hmotnost vzorků a z ní odvozená hustota. Průměrná vlhkost vzorků činila 11,3%. Průměrná hodnota objemové hmotnosti činila 542 kg/m³. Průměrná tloušťka letokruhů byla 1,24 mm, což potvrzuje poměrně naměřené vysoké hodnoty hustoty a kvalitu testované kulatiny. Penetračním

přístrojem PILODYN 6J byla naměřena průměrná hloubka vniku 10,9 mm, čemuž odpovídá (podle vztahů uvedených v [5]) hustota kulatiny 430 kg/m³.



Obr. 2-A/B: Testovaný vzorek upnutý v lisu (A - vlevo), lis EU 100 se vzorkem (B - vpravo)



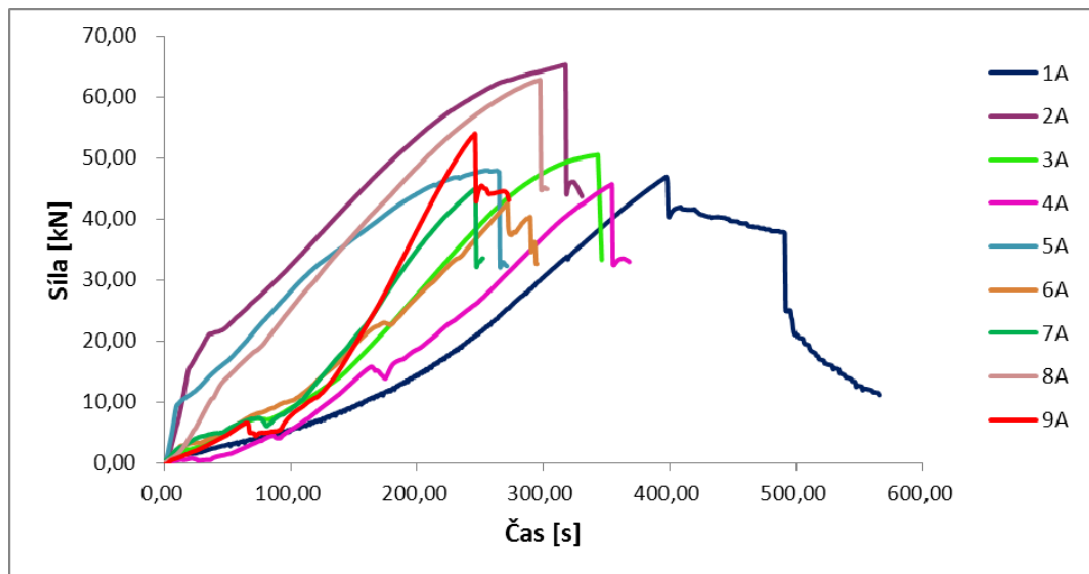
Obr. 3 – A/B: Měření vlhkosti vzorku (A – vlevo), testování přístrojem PILODYN 6J (B – vpravo)

3 PRŮBĚH TESTŮ

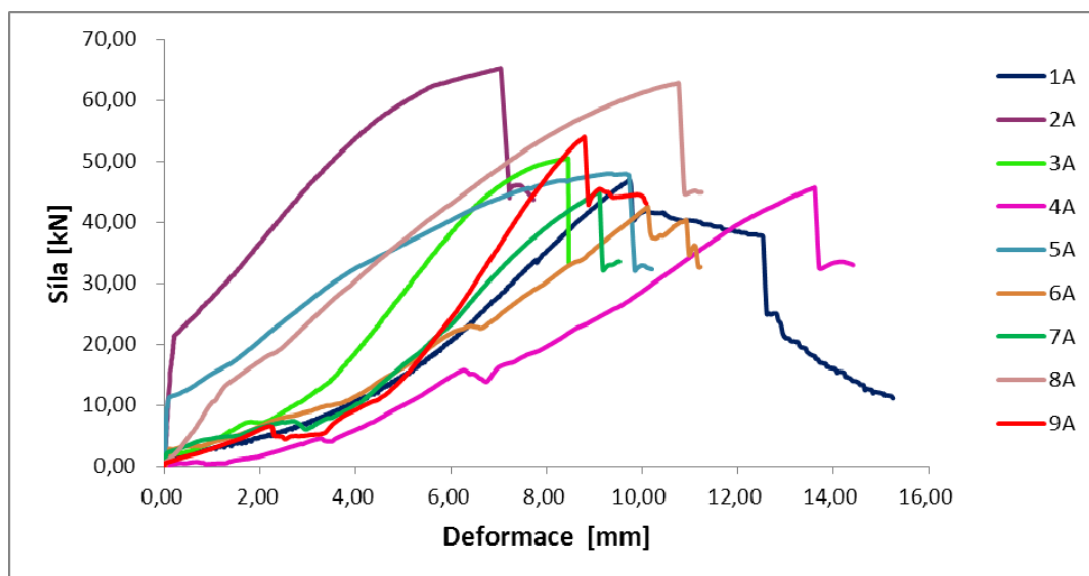
Testování probíhalo v lisu EU100, kdy tahová síla postupně narůstala. Zvolená rychlost posuvu čelisti lisu se ukázala jako vhodně zvolená, protože k destrukci všech testovaných vzorků došlo v časovém rozmezí 300 ± 120 s, což odpovídá časovému rozmezí laboratorních zkoušek krátkodobé pevnosti podle současných evropských norem pro dřevěné konstrukce.

Graf závislosti nárůstu síly v čase pro jednotlivé vzorky je uveden na obr. 4. Obr. 5 znázorňuje vztah deformace (tj. protažení) spoje a působící tahové síly ve spoji.

Podle vztahů pro dvojstřížné spoje kolíkového typu ocel/dřevo s ocelovým plechem uprostřed ([1]) měl být nejslabším článkem spoje ocelový svorník, byť je navržen z oceli vysoké pevnosti. K porušení spoje mělo dojít dosažením plastické únosnosti v ohybu svorníku a vytvořením plastického kloubu. Na obr. 4 je u většiny vzorků zřetelné zpomalení nárůstu síly v čase a na obr. 5 je obdobně zřetelné zpomalení nárůstu síly ve vztahu k nárůstu deformace, což naznačuje, že skutečně docházelo k plastickému přetváření svorníku. K porušení všech vzorků však došlo **rozštípnutím** vzorku – obr. 6. K roztržení došlo překročením pevnosti dřeva v tahu kolmo k vláknům, nebylo však pozorováno předpokládané porušení blokovým smykem. Ani v jednom případě nedošlo ke zlomení svorníku.



Obr. 4: Nárůst tahové síly ve spoji v čase



Obr. 5: Vztah tahové síly ve spoji a deformace (= protažení) spoje



Obr. 6: Destrukce testovaných vzorků v lisu EU100

4 VÝSLEDKY TESTŮ

Výsledky únosnosti spojů získané z testů i hodnoty vypočtené podle [1] na základě aktuálních hodnot hustoty dřeva jsou uvedeny v Tab. 1. Vzhledem k poměrně omezenému počtu testů není možné vyvozovat jednoznačná tvrzení, nicméně odezva všech testovaných vzorků spojů na zatížení vykazovala určité podobné znaky. Po počáteční deformaci spoje (posunutí o přibližně 5 mm), která byla způsobena rozdílným průměrem svorníků a díry v ocelovém styčnickovém plechu, nastala téměř lineární fáze „pracovního diagramu“ spoje až do úrovně přibližně 80% maximální únosnosti. Nad touto úrovní namáhání se již objevilo slyšitelné praskání a došlo k „plastické“ fázi deformace spoje, tj. deformace spoje se zvyšovala více, než by to odpovídalo nárůstu síly (viz obr. 5). V konečné fázi došlo k rychlému rozštípnutí dřevěného prvku v oblasti mezi svorníkem a koncem kulatiny (obr. 6). Únosnost spojů jednotlivých testů vykazovala poměrně velký rozptyl (od 43 kN do 65 kN), přesto je možné konstatovat, že naměřené hodnoty únosnosti spoje poměrně dobře odpovídají hodnotám, vypočteným podle [1] s aktuálními hodnotami hustoty dřeva kulatiny.

Tab. 1: Výsledné hodnoty únosnosti svorníkových spojů kulatiny získané výpočtem a testováním

	$F_{V,Rk,1}$ [kN]	$F_{V,Rk,2}$ [kN]	$F_{V,Rk,3}$ [kN]	$F_{V,Rd,VYP}$ [kN]	$F_{V,Rd,TEST}$ [kN]
μ	35,54	32,03	49,64	49,28	50,29
SD	0,96	0,52	0,71	0,80	5,95
V [%]	2,71	1,63	1,44	1,63	11,82

Kde:

$F_{V,Rk,i}$ jsou charakteristické hodnoty únosnosti dvojstřížného spoje (ocel/dřevo) v jednom stříhu pro jednotlivé způsoby porušení stanovené výpočtem podle [1];

$F_{V,Rd,VYP}$ je návrhová hodnota únosnosti dvojstřížného spoje (ocel/dřevo) stanovená výpočtem pro $k_{mod} = 1,0$ a $\gamma_M = 1,3$;

$F_{V,Rd,TEST}$ je hodnota únosnosti dvojstřížného spoje (ocel/dřevo) naměřená v laboratorním testu;

μ je střední hodnota příslušné veličiny;

SD je směrodatná odchylka příslušné veličiny;

V je variační koeficient příslušné veličiny.

5 ZÁVĚR

Výsledky statických testů svorníkových spojů kulatiny s vloženými styčnickovými plechy naznačily, že i přes poměrně velký rozptyl naměřených výsledků únosnosti spoje, lze konstatovat poměrně dobrou shodu s předpokládanými hodnotami stanovenými výpočtem. Získané poznatky poslouží k dalšímu testování těchto spojů, tentokrát vystavených různým intenzitám mnohacyklického (míjivého) namáhání.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován z prostředků koncepčního rozvoje vědy, výzkumu a inovací pro rok 2012 přidělených VŠB-TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, Praha, 2006.
- [2] STRAKA, B., ŠMAK, M. Spoje s ocelovými prvky ve dřevěných konstrukcích. Ve sborníku odborného semináře s mezinárodní účastí *Dřevostavby 2011*. Volyně 20. a 21. 4. 2011. Str. 151-158. ISBN 978-80-86837-33-8.
- [3] MALO, K. A. et al. Fatigue Tests of Dowel Joints in Timber Structures, Part II: Fatigue Strength of Dowel Joints in Timber Structures. Nordic Timber Bridge Project, ISBN 82-7120-035-6. Nordic Timber Council AB, Stockholm, Sweden, 2002.
- [4] SMITH, I. et al. *Fracture and Fatigue in Wood*. John Wiley & Sons, England, 2003.
- [5] KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ, A. Nondestructive Testing of Solid Timber. In *Proceedings of International Conference on Wood and Wood Fiber Composites*, Stuttgart, 2000, Pp. 303-312.
- [6] KUKLÍK, P. *Dřevěné konstrukce*, Praha 2005, ISBN 80-86769-72-0.
- [7] LOKAJ, A. a kol. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. A II. Díl*. CERM Akademické nakladatelství Brno, 2010, ISBN 978-80-7204-732-1.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Bohumil Straka, CSc., Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Doc. Ing. Jaroslav Sandanus, PhD., Katedra kovových a dřevěných konstrukcí, Stavební fakulta, STU v Bratislave.